TDK-dolgozat

Dénes Botond

Vízközeli hulladéklerakók megbízható detektálása multispektrális műholdfelvételek segítségével

EÖTVÖS LORÁND TUDOMÁNYEGYETEM

INFORMATIKAI KAR

PROGRAMOZÁSELMÉLET ÉS SZOFTVERTECHNOLÓGIAI TANSZÉK

Szerző:

Dénes Botond

programtervező informatikus MSc

2. évfolyam

Témavezető:

Cserép Máté

egyetemi tanársegéd

Budapest, 2024

Tartalomjegyzék

1. Bevezetés **3**

1.0.1. A kutatólabor már meglevő eredményei 3

2. Elemzés és tervezés **5**

2.0.1. Kutatási cél 5

2.0.2. Műhold specifikációk 5

2.0.3. Használt indexek 5

3. Betanítás **6**

3.0.1. Tanítóadatok 6

3.0.2. Tanítási paraméterek 7

3.0.3. Főkomponens analízis(PCA) 7

3.0.4. Nyári és téli adatokra való lebontás 8

4. Tesztelés **10**

4.0.1. Mérési módszerek 10

5. Megvalósítás és alkalmazás **11**

5.0.1. A meglevő alkalmazások bővítése 11

5.0.2. A Tiszta-Tisza alkalmazás 11

5.0.3. Közös metszet 12

6. Összefoglalás és eredmények **13**

Köszönetnyilvánítás **14**

A. Szimulációs eredmények **15**

Irodalomjegyzék **16**

Ábrajegyzék **18**

Táblázatjegyzék **19**

Algoritmusjegyzék **20**

Forráskódjegyzék **21**

1. fejezet

Bevezetés

A hulladékszennyezés komoly problémát jelent a természet számára [1]. Emiatt számos szervezet mozdul abba az irányba, hogy tisztábbá tegye a bolygónkat. Egy ilyen szervezet a PET Kupa, akik elsősorban folyómenti hulladékgyűjtéssel foglalkoznak elsősorban Magyarországon, de figyelmük kiterjed a szomszédos országokra is. Az egyik nagy kihívás a szemétgyűjtésben a szennyezett területeknek a megtalálása. Sok emberi és pénzügyi erőforrást igényel a hulladéklerakók megtalálása a folyók mentén, hiszen járművekkel valakinek végig kell haladnia egy hosszabb területen, csak azért, hogy felmérje, hogy hol van hulladék. Ehhez jelentős mennyiségű üzemanyagot kell elhasználni . Emiatt hatékonyabb eszközökre van szükségünk, hogy ezt a folyamatot felgyorsítsuk. Ennek fényében a PET Kupa felkereste az egyetemünket azzal a kéréssel, hogy olyan eszközöket fejlesszünk le, melyek automatikusan képesek lesznek hulladékot detektálni a folyók mentén.

Ide esetleg egy hivatkozás?

A dolgozatomban bemutatok egy Random Forest modell-t[2], mely a kutatólaborban már lefejlesztett modellre épül [3]. A bemutatott modell javít a korábbi modell problémáin, illetve nagyobb megbízhatósággal találja meg a hulladékot a folyókon és a folyók mentén. A modell eredményei integrálásra kerülnek a Tiszta Tisza webalkalmazásba, ahol több napon keresztül történő detektálás eredménye lesz összesítve és megjelenítve a felhasználók számára . Ezen felül tárgyalva lesz több kutatás is, mely a hulladékdetektálás problémájával foglalkozik.

Hivatkozni a weboldalra

A kutatás hozzáadott terméke egy olyan adathalmaz, mely alkalmas más hulladékdetektálási modellek betanítására is. Az adathalmaz elsősorban szárazföldi Romániai hulladéklerakókról készített PlanetScope műholdfelvételeket tartalmaz, melyek kézzel voltak annotálva.

Továbbá tárgyalásra kerül pár olyan módszer is mellyel tovább próbáltam javítani a modell eredményeit. Ilyen például a Főkomponens analízis, illetve a képnormalizálás.

1.0.1. A kutatólabor már meglevő eredményei

A térinformatikai kutatólaborban már fejlesztésre került egy szerveralkalmazás, mely minden nap a Planet-ről letölti a legfrissebb felvételeket a vizsgált területekről, és lefuttatja ezeken a képeken az akkori modellt. Ezen felül készült egy webalkalmazás is, ami erről a szerverről letölti az eredményeket, és megjeleníti ezeket, összehasonlításra. A kutatólabor rendelkezik egy asztali alkalmazással is, mellyel hatékonyan elő lehet állítani tanítóadatokat. A kutatásom elősegítéséhez ezeket az alkalmazásokat használtam, illetve bővítettem a 5.0.1 fejezetben leírtak szerint.

2. fejezet

Elemzés és tervezés

2.0.1. Kutatási cél

A cél az, hogy a kutatás során szerzett modell megbízhatóan detektáljon hulladéklerakókat. Ehhez a false positive arányok minél kisebbek kell legyenek, míg a true positive arányok minél nagyobbak. Ugyanakkor nem jelent ugyanakkora problémát egy false negative, mint egy false positive, mivel a false positive eredmények fölöslegesen rossz irányba küldhetik a folyómentő csapatot. A kutatólabor 2023-as cikkjében bemutatott modell (továbbiakban meglevő modell) egyik problémája a nagy false positive arányok voltak. A modell a pusztazámori hulladéklerakóról, illetve a kiskörei víztárolóról szerzett adatokkal volt betanítva. Ezért érdemes első körben egy nagyobb adathalmazzal betanítani a modellt.

2.0.2. Műhold specifikációk

Az új Random Forest modell a PlanetScope műholdakra lesz specializálva, azon belül is a legújabb PSB.SD szenzorokra[4]. A modell számára elérhető lesz a Vörös, Kék, Zöld, és a közeli infravörös (NIR) sáv. A PlanetScope műholdak körülbelül 3 méter/pixel felbontással rendelkeznek [5].

2.0.3. Használt indexek

A kutatás során felhasználom a kutatólaborban már számolt indexeket. Pontosabban a Plastic Index (PI), Normalized Difference Water Index (NDWI), Normalized Difference Vegetation Index (NDVI), Reversed Normalized Difference Vegetation Index (RNDVI), Simple Ratio (SR) indexek kerülnek használatra .

Jó referencia ezekhez az indexekhez

3. fejezet

Betanítás

3.0.1. Tanítóadatok

A betanításhoz 29 romániai hulladéklerakó és közvetlen környezete került a tanítóadatok közé, illetve a Kiskörei víztároló is. A romániai hulladéklerakókat egy helyi weboldalon lehet megtalálni, a hozzájuk tartozó koordinátákkal együtt [6]. Az ott bemutatott 46 hulladéklerakó közül 29 volt alkalmas tanításra: sok hulladéklerakó be lett tömve, vagy föld alatt működik. Minden hulladéklerakóhoz letöltöttem egy-egy nyári+tavaszi, téli és őszi multispektrális műholdképet, melyeket kézzel annotáltam. A nyári és tavaszi képeket azért vontam egybe, mivel ezek hulladékdetektálás szempontjából hasonló adatokat eredményeztek. A tanítóadatok pixelenként vannak előállítva, így a végső adathalmaz 27 millió tanítóadatból (pixelből) áll. Minden pixelhez hozzá van rendelve a vörös, kék, zöld, közeli infravörös sáv, illetve a "PI", "NDWI", "NDVI", "RNDVI", "SR" indexek. Ezen felül minden pixel címkézve van a 3.1 táblázatban leírtak szerint.

Címke azonosító	Címke neve	Címke magyarázat
100	Hulladék	Azon területek, melyeken hulladékot találtunk.
200	Víz	olyan területek, melyeken kizárólag vizet találtunk, általában folyók.
300	Legelők/Erdők	Zöld övezetből álló vad területek. Ezek lehetnek fák lombjai vagy füves zónák.
400	Mezők	Olyan földes területek, melyek meg vannak művelve, illetve ahol mezőgazdasági növények találhatóak, például gabonafélék.
500	Ismeretlen	Olyan területek, melyek a korábbi kategóriákba nem sorolhatók bele. Ilyenek az épületek, aszfaltozott utak, háztetők, mezei utak.

3.1. táblázat. A tanítóadatok címkéi

3.0.2. Tanítási paraméterek

A nagy adathalmaz miatt a Random Forest modell is nagyon nagy lesz (körülbelül 14GB), ami egy nehezen kezelhető méret, így érdemes módosítani a modell paraméterein, hogy ez kisebb méretű legyen. A legjobb eredményeket azzal értem el, hogy a Random Forest fák méretét 20 mélységűre limitáltam. Ennek köszönhetően a modellek méretét 2GB-ra tudtam csökkenteni , és a **??** ábrából látható, hogy a csökkentett modell is hasonlóan teljesít a nagy modellhez képest.

táblázat a fák méretéről, a modellek méretéről és a különböző mélységekről

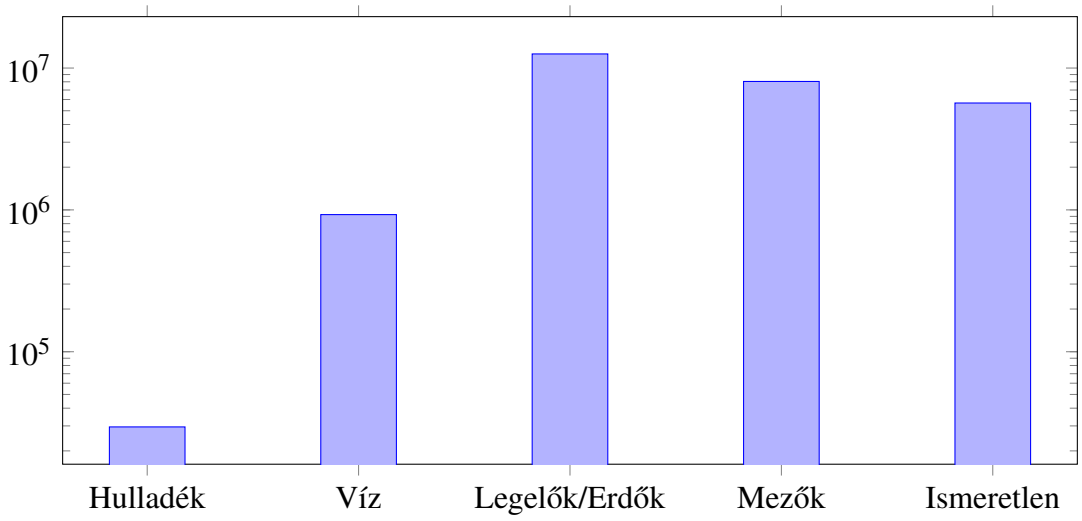
ábra készítés ide

Továbbiakban felmerült az a probléma is, hogy a tanítóadatok nagyon aránytalanok voltak: A 3.1 ábrából látható, hogy nagyságrendekkel kevesebb adattal rendelkeztünk hulladékról, mint az összes többi adatról. Emiatt a modell nagyon sok false-negatív-ot termelt. Ennek korrigálására súlyokat alkalmaztam a tanítóadatokra. A súlyok kiszámolásához az összes címkére a 3.1 képletet használtam.

$$címke\ súlya = \frac{adathalmaz\ mérete}{címke\ darabszáma} \tag{3.1}$$

3.0.3. Főkomponens analízis(PCA)

A modell méretének a csökkentésére még megpróbáltam a főkomponens analízis (PCA) alkalmazását is [7]. A módszer többek között arra is használható, hogy egy többdimenziós adathalmazból kivonja a legfontosabb információkat egy alacsonyabb dimenziószámú adathalmazba. Az ötlet az volt, hogy a bemeneti adatok dimenziószámának a csökkentésével csökkenni fog a modell mérete, de érdekes módon



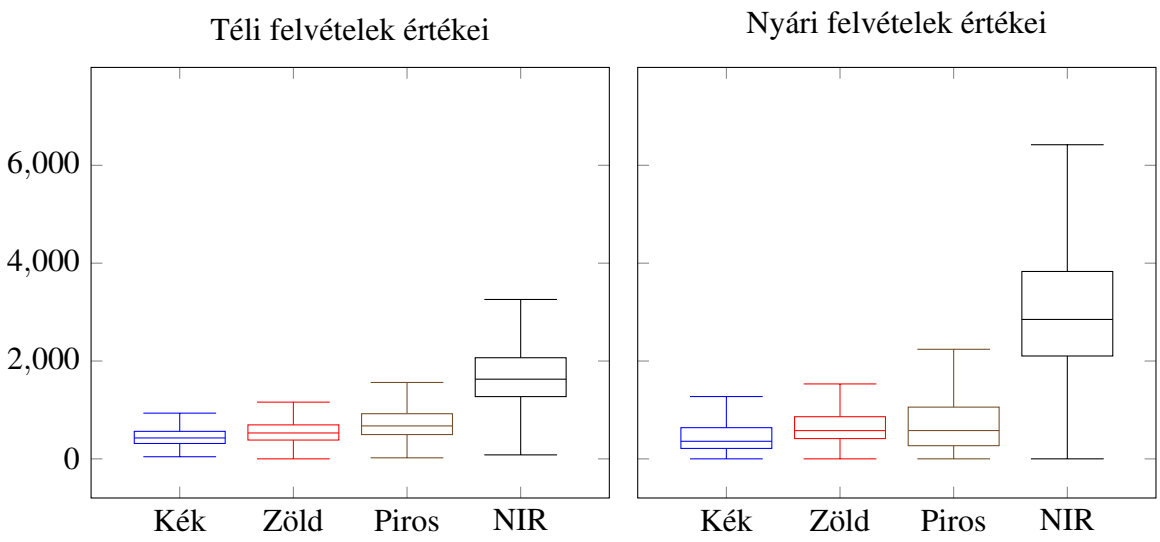
3.1. ábra. Az adatok közötti aránytalanság, logaritmikus skálázással

a modell mérete nem csökkent a dimenziószám csökkentésével, helyette lényegesen megnőtt. További vizsgálatok után kiderült, hogy hogyha kevesebb dimenziójú adatot adtam a modellnek, akkor a mérete lényegesen megnőtt.

3.0.4. Nyári és téli adatokra való lebontás

Alapértelmezetten a nyári és téli adatok között lényeges különbség tud lenni távérzékelés szempontból Közép-Európa területén: a téli időszakokban gyérebb a vegetáció, ködösebb a levegő, illetve a nap sem süt ugyanabból a szögből. Ez befolyásolhatja a modell pontosságát is az adott időszakokban. A nyári időszak alatt a márciustól októberig tartó időszakra gondolok, és a téli időszak alatt a novembertől februárig tartó időszakra gondolok. A 3.2 ábrából látható, hogy főleg a közeli infravörös (NIR) sávokon nagy eltérések vannak a nyári és téli felvételek között. Ennek fényében betanítottam külön egy nyári és egy téli modellt, melyek teljesítményét a **??** fejezetben részletezem.

fejezet elkészítése



3.2. ábra. Nyári és téli adatok összehasonlítása

4. fejezet

Tesztelés

4.0.1. Mérési módszerek

A teszteléshez előállítottam egy teszthalmazt, amivel a modell eredményeit összehasonlítottam. Az eredményeket a "Confusion Matrix" módszerével értékeltem ki [8].

5. fejezet

Megvalósítás és alkalmazás

5.0.1. A meglevő alkalmazások bővítése

Az asztali alkalmazás bővítése

A meglevő asztali alkalmazás alkalmas volt a tanítóadatok hatékony előállítására, de utólag nem lehetett visszanézni, hogy adott műholdfelvételhez milyen tanítóadatok tartoznak, illetve azt sem, hogy az adott tanítóadat hol volt mintavételezve. Az alkalmazás eredetileg egy CSV fájlba eltárolta az összes pixel spektrális értékeit és indexeit, és ezt lehetett használni tanításra. Ennek az volt a hátránya, hogy nehéz volt áttekinteni illetve kiegészíteni az adatokat. Ezért az asztali alkalmazást kiegészítettem ezzel a funkcionalitással, a tanítóadatok előállítása elmentésekor az alkalmazás létrehoz egy külön raszteres réteget is külön minden műholdfelvételhez, melyen látható, hogy mely területek voltak hozzáadva a tanítóadatok közé, így tetszőleges módon előállítható/ellenőrizhető a tanítóhalmaz.

A szerveralkalmazás bővítése

A szerveralkalmazás és webalkalmazás is bővítésre került: a szerveralkalmazás mostmár több modellt is le tud futtatni a letöltött műholdfelvételeken és ezeket külön tárolja. A webalkalmazás mostmár képes letölteni külön ezeket az eredményeket és több hulladékmaszkoló módszer eredményét is meg tudja jeleníteni, ennek köszönhetően ezeket egymással össze lehet könnyen hasonlítani valós tesztadatokon.

5.0.2. A Tiszta-Tisza alkalmazás

melyik link kerüljön ide?

A Tiszta-Tisza webalkalmazás a PET Kupa által használt webalkalmazás, melynek az

a célja, hogy egy olyan felületet biztosítson, ahol meglehet tekinteni a jelenleg ismert folyómentén található hulladéklerakókat, illetve akár a regisztrált felhasználók is be tudnak jelenteni ilyet. A PET Kupa megbízta az egyetemet azzal a feladattal, hogy ezt továbfejlessze, és a feladatok közé tartozott az is, hogy a Random Forest modell eredményeit integráljuk ebbe az alkalmazásba. Ezt a feladatot én vállaltam el.

Tekintve arra, hogy a Tiszta-Tisza térképén pontok vannak megjelenítve, a modell által detektált területeket is pontokkal jelöljük. Ehhez egy nagyobb terület közepére helyezünk el egy pontot. Előfordulhat olyan is, hogy a modell olyan képeket klasszifikál, melyek el vannak torzítva (például magas páratartalom miatt). Ilyenkor a false-positive-ok aránya lényegesen megnő. Ennek korrigálására a Tiszta-Tisza alkalmazásban a legutolsó három detektálást (legfeljebb 1 hónap különbséggel) veszem figyelembe és két kép közös metszetével döntöm el, hogy milyen területek kerülnek fel a térképre. A lépéseket a 5.0.3 fejezetben részletezem.

5.0.3. Közös metszet

A már meglevő szervertől poligonok formájában, GeoJSON-ben [9] lehet lekérni az adott napon detektált hulladékos területeket. így érdemes poligonok metszetében kigondolni a többségi szavazást. Jelöljük BUF(P,n)-vel egy multipoligon pufferét, ahol

$$P \in \mathbb{P}$$

egy multipoligon, és n egy egész szám. Ekkor a többségi szavazást három képre a 5.1 képlet szerint lehet alkalmazni. Ezután az elég nagy poligonok egy-egy belső pontját megválasztva megtudjuk jelölni a hulladéklerakókat.

hasonló képleteket mások is ismernek fórumokban, de hivatalos forrással nem találkoztam

$$Eredmény\ multipoligon = \bigcup_{P_1 \in \mathbb{P}} \bigcup_{P_2 \in \mathbb{P}} BUF(BUF(P_1,n) \cap BUF(P_2,n), -n) \tag{5.1}$$

6. fejezet

Összefoglalás és eredmények

Köszönetnyilvánítás

Amennyiben a TDK projekted pénzügyi támogatást kapott egy projektből vagy az egyetemtől, jellemzően kötelező feltüntetni a dolgozatban is. A dolgozat elkészítéséhez segítséget nyújtó oktatók, hallgatótársak, kollégák felé is nyilvánítható külön köszönet.

A. függelék

Szimulációs eredmények

Irodalomjegyzék

[1] M.G. Kibria, N.I. Masuk és R. et al. Safayet. „Plastic Waste: Challenges and Opportunities to Mitigate Pollution and Effective Management”. *International Journal of Environmental Research* 17.20 (2023. jan.). ISSN: 2008-2034. URL: https://doi.org/10.1007/s41742-023-00507-z.

[2] Leo Breiman. „Random Forests”. *Machine Learning* 45.1 (2001), 5–32. old. ISSN: 1573-0565. DOI: 10.1023/A:1010933404324. URL: https://doi.org/10.1023/A:1010933404324.

[3] Dávid Magyar és tsai. „Waste Detection and Change Analysis based on Multispectral Satellite Imagery”. 2023. jan. DOI: 10.48550/arXiv.2303.14521.

[4] Planet.com. URL: https://developers.planet.com/docs/apis/data/sensors/ (elérés dátuma 2024. 04. 03.).

[5] Planet.com. URL: https://developers.planet.com/docs/apis/data/sensors/ (elérés dátuma 2024. 04. 03.).

[6] InfoCons.ro. URL: https://fiiunexemplu.ro/in-romania-exista-46-depozite-de-deseuri-gropi-de-gunoi/ (elérés dátuma 2024. 04. 02.).

[7] Hervé Abdi és Lynne J. Williams. „Principal component analysis”. *WIREs Computational Statistics* 2.4 (2010), 433–459. old. DOI: https://doi.org/10.1002/wics.101. eprint: https://wires.onlinelibrary.wiley.com/doi/pdf/10.1002/wics.101. URL: https://wires.onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/wics.101.

[8] Russell G. Congalton. „A review of assessing the accuracy of classifications of remotely sensed data”. *Remote Sensing of Environment* 37.1 (1991), 35–46. old. ISSN: 0034-4257. DOI: https://doi.org/10.1016/0034-4257(91)90048-B. URL: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/003442579190048B.

[9] H. Butler és tsai. *The GeoJSON Format*. RFC 7946. 2016. aug. DOI: 10.17487/RFC7946. URL: https://www.rfc-editor.org/info/rfc7946.

Ábrák jegyzéke

3.1. Az adatok közötti aránytalanság, logaritmikus skálázással 8
3.2. Nyári és téli adatok összehasonlítása 9

Táblázatok jegyzéke

3.1. A tanítóadatok címkéi 7

Algoritmusjegyzék

Forráskódjegyzék